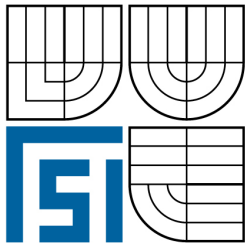


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

# OPTICKÉ SCANOVACÍ SYSTÉMY

OPTICAL DIGITALIZING SYSTEMS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

TIBOR CHREN

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. DANIEL KOUTNÝ

BRNO 2008

---

## **ABSTRAKT**

Táto práca sa zaoberá optickými systémami používaných v reverznom inžinierstve. Práca má podať prehľad systémov určených na digitalizáciu z hlavným zameraním na optické skenery. Najskôr je krátko spomenutý vývoj a rozdelenie 3D skenerov, potom sú rozobrané základne optické metódy zachycujúce tretí rozmer. Práca sa ďalej zaoberá rozdelením 3D skenerov podľa rozličných hľadísk. Podrobnejšie sú spracované optické 3D skenery. Záver práce sa zamerá na oblasti a možnosti využitia 3D skenerov.

## **KLÚČOVÉ SLOVÁ**

Reverzné inžinierstvo, digitalizácia, optické systémy, 3D skenery.

## **ABSTRACT**

This thesis describes various optical systems which are used in reverse engineering and have to present basic review of systems for digitalization with main focus on optical scanners. At first, the brief summary of development in 3D scanner field is presented. In next part of the work are introduced basic techniques of getting the third dimension. Work also divides 3D scanners by the different aspects. At the end of the work, the possible use of 3D scanners is discussed.

## **KEYWORDS**

Reverse engineering, digitalization, optical systems, 3D scanners.

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA**

CHREN, T. *Optické scanovací systémy*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 42 s. Vedúci bakalárskej práce Ing. Daniel Koutný.

---



---

## ČESTNÉ PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že túto prácu som vypracoval samostatne, pod vedením vedúceho bakalárskej práce Ing. Daniela Koutného a s použitím len uvedených zdrojov.

V Brne dňa.....

.....  
Tibor Chren

---



---

## POĎAKOVANIE

Chcel by som poďakovať každému, kto mi pomohol pri tvorbe tejto práce.  
Hlavne ďakujem za pomoc, návrhy a pripomienky vedúcemu bakalárskej práce  
Ing. Danielovi Koutnému

---



**OBSAH**

<b>1</b>	<b>ÚVOD .....</b>	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>DEFINÍCIA ZÁKLADNÝCH POJMOV .....</b>	<b>13</b>
<b>3</b>	<b>PREHĽAD A ROZBOR EXISTUJÚCEJ LITERATÚRY V DANEJ OBLASTI .....</b>	<b>14</b>
3.1	Vývoj 3D skenerov .....	14
3.2	Rozdelenie skenerov .....	15
3.2.1	Podľa konštrukcie .....	15
3.2.2	Podľa použitej technológie snímania .....	16
3.3	Optické metódy zachycujúce tretí rozmer .....	18
3.3.1	Aktívna triangulácia .....	18
3.3.2	Pasívna triangulácia .....	20
3.4	Optické skenery .....	21
3.4.1	ATOS .....	21
3.4.2	TRITOP .....	24
3.4.3	COMET V .....	26
3.4.4	OptoTOP-HE .....	27
3.4.5	StereoSCAN .....	29
3.5	Použitie 3D skenerov .....	30
3.5.1	Strojárstvo .....	30
3.5.2	Automobilový priemysel .....	31
3.5.3	Medicína .....	32
3.5.4	Umenie .....	32
3.5.5	Prezentácie .....	32
3.5.6	Film a počítačové hry .....	32
3.5.7	Obuvnícky a odevný priemysel .....	32
3.5.8	Kozmetika .....	33
<b>4</b>	<b>ANALÝZA A ZHODNOTENIE ZÍSKANÝCH POZNATKOV .....</b>	<b>34</b>
<b>5</b>	<b>VYMEDZENIE TRENDOV BUDÚCEHO VÝVOJA .....</b>	<b>35</b>
<b>6</b>	<b>SÚHRN BIBLIOGRAFII .....</b>	<b>36</b>
<b>7</b>	<b>ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK, SYMBOLOV A VELIČÍN .....</b>	<b>40</b>
<b>8</b>	<b>ZOZNAM OBRÁZKOV .....</b>	<b>41</b>
<b>9</b>	<b>ZOZNAM TABULIEK .....</b>	<b>42</b>

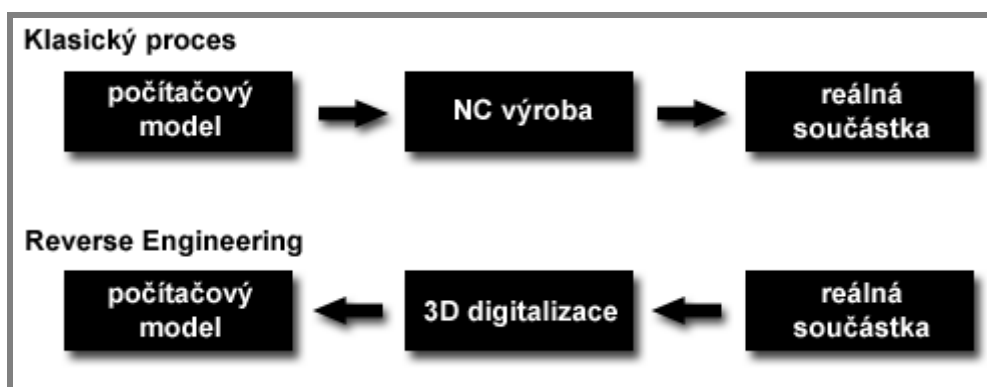
## 1 ÚVOD

Rozvoj výpočtovej techniky a s tým súvisiace nové možnosti digitálneho zachytávania obrazových dát prispeli k výraznému pokroku v mnohých oblastiach. Jednou z týchto oblastí boli aj 3D skenery. Ich využitie spadá do mnohých oblastí nášho života ako sú napríklad filmový priemysel, medicína, internet, obuvnícky a odevný priemysel. V neposlednom rade sa 3D skenery používajú v strojárstve a automobilovom priemysle. Použitie v strojárskom priemysle urýchľuje vývoj nových produktov, ale umožňuje aj analýzu deformácií a vibrácií. Práve pre túto viac účelovosť neustále rastie ponuka 3D skenerov a každá ich nová generácia umožňuje jednoduchšiu, rýchlejšiu a efektívnejšiu prácu. Zameranie tejto práce je hlavne na opis 3D optických systémov a princíp ich činnosti.

## 2 DEFINÍCIA ZÁKLADNÝCH POJMOV

2

Digitalizácia patrí do reverzného inžinierstva. (od anglického slova reverse, obrátený). Klasický prístup používa CAD programy na tvorbu 3D počítačového modelu a výkresov navrhovanej súčiastky. Pomocou nich sa vyrobí navrhnutá súčiastka na NC strojoch či ručne na obrábacích strojoch. Výsledkom klasického prístupu je reálna súčiastka. Proces reverzného prístupu je obrátený, začína pri reálnej súčiastke a výstupom je 3D model. Základným prvkom reverzného inžinierstva je digitalizácia. Je to prenesenie hmotnej súčiastky pomocou rôznych druhov snímacích zariadení, nazývaných 3D skenery, do prostredia priestorového zobrazenia v počítači. Výhodou digitalizácie je rýchlosť a efektívnosť. Jej nevýhodou je cenová náročnosť skenovacích zariadení. [1], [3], [5]

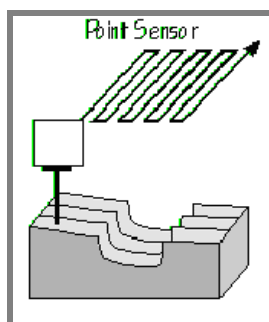


Obr. 2.1 Zaradenie digitalizácie [1]

### 3 PREHĽAD A ROZBOR EXISTUJÚCEJ LITERATÚRY V DANEJ OBLASTI

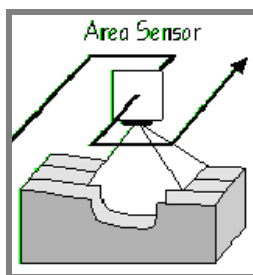
#### 3.1 Vývoj 3D skenerov

Vývoj 3D skenerov je úzko prepojený s vývojom výpočtovej techniky a najmä zvyšujúcim sa výkonom počítačov schopných reálnych 3D zobrazení. V prvotných pokusoch o 3D digitalizáciu bola najväčšou prekážkou zložitosť priestorového povrchu a jeho meranie v priestore. V 80.tych rokoch minulého storočia bola vyvinutá dotyková sonda. Pomocou nej bolo možno vytvárať detailné modely. Hlavnou nevýhodou bola veľmi pomalá digitalizácia. Preto sa ďalší vývoj zameral na optickú technológiu, ktorá je oproti dotykovej sonde oveľa rýchlejšia. Povrch predmetov bol chránený, lebo skener pracujúci na optických princípoch nevyžadoval kontakt s povrchom skenovaného predmetu. Pomocou nej sa dali skenovať aj mäkké predmety. Opticky sa povrch dá snímať tromi spôsobmi. Snímanie povrchu s vyžarovaním bodu, plochy alebo pásu svetla. Logicky je bod najpomalší spôsob optického snímania, lebo vykryje naraz len malú plošku povrchu. Na pokrytie celého povrchu je nutné vykonať veľa pohybov. [2]



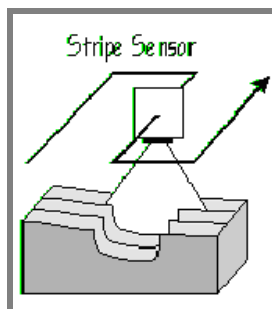
Obr. 3.1 Bodové snímanie povrchu [2]

Vyžarovanie plochy svetla je náročnejšia metóda skenovania povrchu. Dokáže však naraz zachytiť pomerne veľkú časť povrchu. Pre jej náročnosť bola málo využívaná v skeneroch pri ich vývoji. Dnes sa táto metóda v optických systémoch používa.[2]



Obr. 3.2 Plošné snímanie povrchu [2]

Vyžarovanie pásu využíva skupinu bodov prechádzajúcich nad povrchom. Je to menej náročný spôsob ako vyžarovanie plochy a zároveň menej pracný ako vyžarovanie bodu. Táto technológia spĺňala všetky požiadavky na rýchlosť a presnosť skenovania povrchu. Preto sa vývoj optických skenerov sústredil na túto technológiu. [2]



Obr. 3.3 Snímanie povrchu pásom svetla [2]

Medzi prvé využitia 3D skenerov patrilo snímanie ľudí. V 80.tych rokoch minulého storočia spoločnosť Cyberware Laboratories zo sídlom v Los Angeles uviedla skener hlavy. Využíval sa pre animácie vo filmovom priemysle. Tento skener bol v polovici 90.tych rokov minulého storočia upravený tak, aby dokázal skenovať celé telo. V tomto období sa začali 3D skenery používať aj na iné aplikácie. V roku 1994 nastal pokrok v oblasti 3D skenovania. Skener REPLIKA vyrábaný firmou 3D Scanners už dokázal presne a rýchle skenovať aj detaily predmetov. [2]



Obr. 3.4 Skener REPLIKA [2]

Spoločnosť Digibotics prišla zo 4 osým laserovým skenerom. Princíp jeho skenovania bol založený na vyžarovaní bodu pomocou lasera. Táto skutočnosť spôsobovala pomalé skenovanie. Tomuto skeneru chýbalo 6 stupňov voľnosti, čím nedokázal pokryť celý povrch predmetu a ani nedokázal zachytiť jeho farbu. Spoločnosť Immersion a Faro Technologies uviedli na trh lacné manuálne digitizéry schopné vytvárať 3D modely. Ich nevýhodou bolo pomalé skenovanie a neschopnosť zachytiť farbu. V roku 1996 spoločnosť 3D Scanners vytvorila skener ModelMaker. Spojila v ňom technológiu vyžarovania pásu a technológiu pre ručné ovládanie. Bol to prvý 3D skener spĺňajúci požiadavky na presnosť, rýchlosť a schopnosť naskenovať i farbu. Ako prvý vytváral reálne 3D modely skutočných objektov behom niekoľkých minút. [2]

## 3.2 Rozdelenie skenerov

3.2

### 3.2.1 Podľa konštrukcie

3.2.1

- Pevné
- Prenosné

### **Pevné skenery**

Základnou črtou pevných skenerov je, že sú viazané na jedno miesto a teda skenovaný predmet sa musí dopraviť k nim. Väčšinou sa jedná o skenery veľkých rozmerov. [6], [7]

### **Prenosné skenery**

Prenosné skenery sa dajú ľahko prenášať a dopraviť ku skenovanému predmetu. Majú malé rozmery, ktoré im umožňujú napríklad poskladanie do kufríka a ľahké prevážanie v osobnom automobile. [6], [7]

---

### **3.2.2 Podľa použitej technológie snímania**

- Dotykové
- Bezdotykové
- Mechanické
- Optické
- Laserové
- Deštruktívne
- Ultrazvukové
- Röntgenové

#### **Dotykové skenery.**

Dotykové skenery potrebujú fyzický kontakt s povrchom objektu. Hrotom obtiahu charakteristické krivky povrchu. Týmito krivkami sa nadefinuje tvar predmetu. Následne sa krivky spoja plochou a vytvorí sa povrch skenovaného predmetu. [6], [7], [10]

#### **Bezdotykové skenery.**

Bezdotykové skenery nevyžadujú fyzický kontakt s povrchom predmetu. Ich výhodou sú kvalitnejšie výstupy, menšia časová náročnosť skenovania a schopnosť vytvoriť hustejšiu sieť bodov i v miestach, kde sa hrot dotykového skeneru ťažko dostane. [6], [7]

#### **Mechanické skenery**

Mechanické skenery sú dotykové skenery. Skladajú sa zo základne, hrotu a niekoľkých ramien spojených kĺbmi. Táto konštrukcia pripomína stavbu ľudskej ruky. V kĺboch sa nachádzajú senzory zaznamenávajúce polohu a natočenie každého ramena. Pomocou týchto senzorov systém rozpozná polohu každého nasnímaného bodu. Pred použitím mechanického skenera je vhodné si skenovanú súčiastku pripraviť. Vyznačia sa body, ktoré najlepšie vystihujú tvar predmetu. Počet a umiestnenie týchto bodov je úmerné tvarovej členitosti povrchu. Výstupom snímania sú body a krivky dané súradnicami x, y, z. Mechanický skener nedáva informácie o textúre povrchu len o jeho tvare. Dosahuje presnosť v okolí desiatín milimetra. Výhodou je nižšia cena oproti skenerom založených na iných spôsoboch snímania. Využitie mechanických skenerov hlavne nachádzajú dizajnéri, animátori a tvorcovia počítačových hier. Príkladom mechanického skenera je zariadenie Microscribe 3D od firmy Immersion. Na český trh ho distribuuje firma MCAE Systems. [4], [6], [8]

### **Optické skenery**

Optické skenery pracujú na princípe bezdotykového snímania, digitalizujú vonkajší povrch a dokážu rozpoznať aj textúru povrchu. Pred samotným snímaním povrchu sa objekt najskôr pripraví. Na jeho povrch sa nalepia značky. Značky slúžia na presnejšie vystihnutie tvaru povrchu. Opticky sa dá snímať dvoma spôsobmi, pomocou kamery alebo fotoaparátu. Pri použití kamery sa predmet najskôr nasvieti pomocou projektora vysielajúceho pásy svetla. Pásy svetla kopírujú povrch a zároveň sú snímané kamerou. Pomocou pásov svetla a značiek systém rozpozná povrch predmetu. Pri použití fotoaparátu nesmie chýbať kalibračná mierka položená pri predmete. Skenovaný predmet sa nafotí z rôznych uhlov. Pomocou značiek si systém poskladá fotografie do priestorového zobrazenia. Vďaka mierke systém rozpozná vzdialenosti nafotených bodov. Väčšie množstvo či hustota fotografií zvyšuje kvalitu celého procesu. Optický skener sa dá využiť aj ako meracie zariadenie na meranie deformácií, vibrácií pri statickom i dynamickom zaťažovaní. Nevýhodou optických skenerov je, že majú problém s rozpoznávaním nepriechodnej diery. [6], [7], [8] Optické skenery vyrába Nemecká firma GOM. Na český trh ich prináša firma MCAE Systems. [11]

### **Laserové skenery**

Laserové skenery skenujú vonkajší povrch bez kontaktu s ním. Laserový skener využíva vlastnosti laserového lúča. Skener vyšle laserový lúč na povrch skenovaného predmetu. Po odraze od povrchu sa vráti do skeneru. Skener vyhodnocuje dobu a uhol vrátenia sa lúča. Doba návratu lúča dáva informáciu o vzdialenosti skenovaného bodu a uhol návratu o naklonení daného bodu. Na základe týchto dvoch údajov systém rozpozná geometriu skenovaného miesta. Týmto postupom sa prejde celý povrch. Hustota lúča určuje kvalitu digitálneho modelu. Tento postup zachytí len geometriu povrchu, nie však jeho textúru. Na získanie textúry sa používa spojenie laserovej technológie s optickou. Laserový skener má oproti optickému skeneru výhodu v tom, že dokáže rozpoznať nepriechodnú diery. Nevýhodou laserových skenerov je vysoká cena. [6], [7] Výrobcom laserových skenerov je firma Konica Minolta. [12]

### **Deštruktívne skenery**

Počas skenovania deštruktívnym skenerom sa skenovaný predmet zničí. Deštruktívny skener dokáže skenovať nie len vonkajšiu, ale aj vnútornú geometriu predmetu. Umožňuje digitalizovať i zložité tvary a dutinu vo vnútri skenovanej súčiastky. Pred použitím deštruktívneho skeneru sa predmet musí najskôr pripraviť zaliatím špeciálnym materiálom. Špeciálny materiál zabezpečí vysoký kontrast farby materiálu s predmetom a vyplní všetky dutiny. Takto pripravený blok sa vloží do skeneru a pripevní sa k fréze. Ďalší priebeh je automatický. Fréza odfrézuje veľmi tenkú vrstvu zaliateho predmetu a skenovací systém nasníma novovzniknutý povrch. Takto sa postupne odfrézuje celý zaliaty blok obsahujúci predmet. Posledný krok spočíva v transformácii 2D nasnímaných údajov jednotlivých vrstiev do 3D modelu. Deštruktívny skener má oproti mechanickým, optickým a laserovým skenerom výhodu v tom, že dokáže digitalizovať i vnútornú časť predmetov. Nevýhodou je zničenie celej súčiastky. Výrobcom deštruktívnych skenerov je Americká firma CGI. [6], [9]

### Ultrazvukové skenery

Ultrazvukové skenery sú bezkontaktné nedeštruktívne mobilné skenery. Skenovanie prebieha ultrazvukovou sondou tvaru pištole. Skener vyšle ultrazvukový signál, ktorý sa preloží do 3D súradníc a tieto súradnice sa pošlú do CAD programu. Oproti skenerom založených na inej technológii snímania majú najnižšiu cenu, ale aj malú presnosť, ktorá sa pohybuje v rozmedzí 0,3 – 0,5 mm. [6]

### Röntgenové skenery

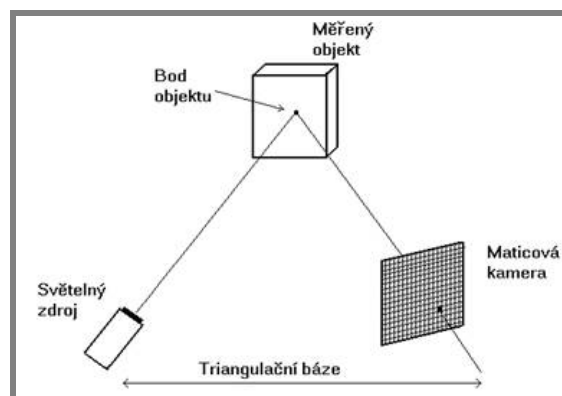
Röntgenové skenery sú skenery nedeštruktívne, bezdotykové a mobilné. Technológia skenovania je založená na röntgenovom žiarení. 3D röntgenový skener pracuje rovnakým spôsobom ako röntgeny používané v nemocniciach. Rozdielom je použitie vyššej intenzity röntgenového vyžarovania. Pomocou 3D röntgenových skenerov sa digitalizuje vnútorná geometria podobne ako u deštruktívnych skenerov. Oproti mechanickým, optickým a laserovým skenerom majú výhodu v tom, že dokážu digitalizovať i vnútro predmetov a narozdiel od deštruktívnych skenerov sa pri digitalizácii nezničí predmet. Röntgenové skenery nedokážu zachytiť farbu objektu. Použitie nachádzajú pri kontrolovaní uzavretých nádob, potrubí a kotlov. [6]

## 3.3 Optické metódy zachycujúce tretí rozmer

Optické skenery využívajú na zachytenie tretieho rozmeru metódu zvanú triangulácia. Táto metóda optického merania sa delí na: - Aktívna triangulácia  
- Pasívna triangulácia

### 3.3.1 Aktívna triangulácia

Aktívna triangulácia fotogrametricky rekonštruje nasvietený objekt. Objekt je nasvietený svetelným zdrojom a zároveň zachytávaný CCD snímačom v CCD kamere. Snímaný bod objektu, CCD kamera a zdroj svetla vytvárajú triangulačný trojuholník. [13], [14], [15]

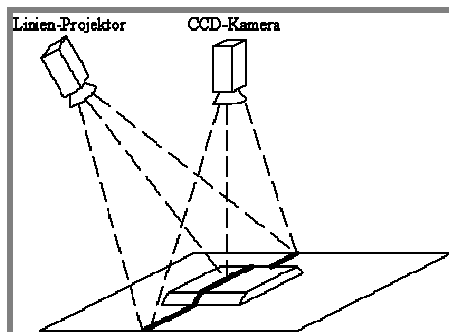


Obr. 3.5 Aktívna triangulácia, triangulačný trojuholník [13], [15]

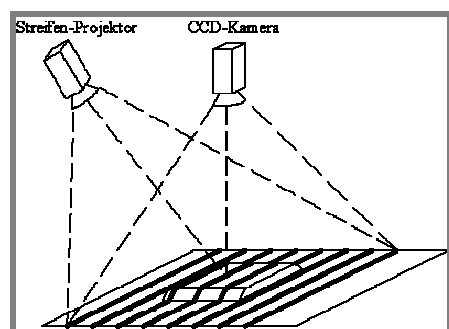
Strana trojuholníka medzi svetelným zdrojom a CCD snímačom je označená ako triangulačná báza. Uhol triangulačnej báze zo stranou svetelného zdroja je pevný a nemení sa. Uhol medzi triangulačnou bázou a stranou z CCD snímačom sa mení na základe postupného snímania objektu. Pomocou znalosti triangulačnej báze, pevného uhlu na strane zdroja a meniaceho sa uhlu na strane CCD snímača sa určí tretia súradnica snímaného bodu. Aktívnu trianguláciu používajú optické systémy zložené z jednej CCD kamery a z jedného projektora. [13], [14], [15]

Aktívna triangulácia sa delí podľa vysielaného signálu označujúceho povrch na:

- 1D triangulácia používajúca svetelný lúč, obr. 3.5
- 2D triangulácia využívajúca svetelný pás, obr. 3.6
- 3D triangulácia vysielajúca štruktúrovaný svetelný zväzok, obr.3.7



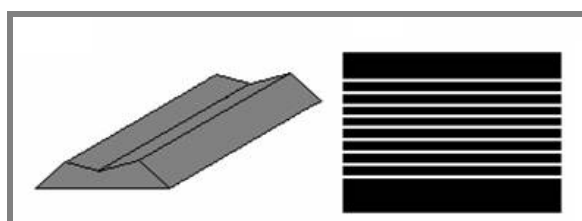
Obr. 3.6 2D triangulácia [16]



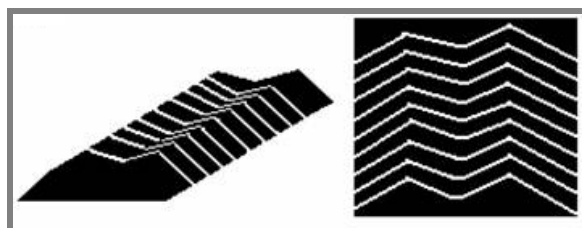
Obr. 3.7 3D triangulácia [16]

### Príklad 3D triangulácie

Na obr. 3.8 v ľavo je zobrazený skenovaný predmet. V pravo sa nachádza vzor pásov svetla vychádzajúci zo svetelného zdroja. Na obr. 3.9 v ľavo je vzor nesmerovaný na povrch predmetu. Svetelné pásy sú presne zlomené podľa povrchu. Takto nasvietený povrch sa nasníma CCD kamerou. Pomocou pásov svetla kopírujúcich povrch optický systém získa tvar skenovaného predmetu, obr. 3.9 v pravo. [13]



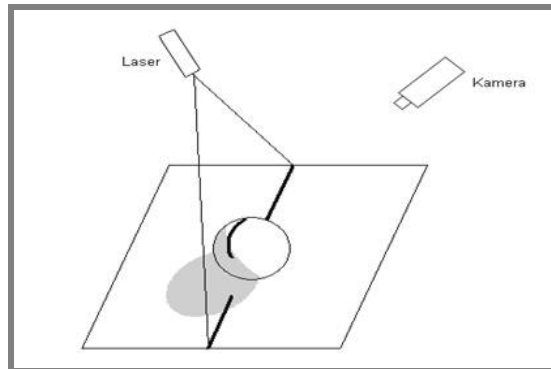
Obr. 3.8 Skenovaný predmet a pásy vysielané zdrojom svetla [13]



Obr. 3.9 Pásy svetla zlomené podľa predmetu [13]

### Nevýhoda triangulácie

Slabou stránkou triangulácie sú členité povrchy. Na nich sa dá len ťažko zaručiť, že vysielaný vzor bude viditeľný CCD kamerou, alebo svetelné vyžarovanie sa dostane na každé miesto povrchu členitého predmetu. V takýchto prípadoch triangulácia nedokáže dostatočne popísať povrch predmetu. Na obr. 3.10 je znázornená 2D triangulácia. V tomto prípade je ako svetelný zdroj použitý svetelný pás vysielaný pomocou laseru. Svetelný pás laseru sa nedostáva na spodnú stranu gule. Kamera zas nevidí šedú plochu za guľou. [13]



Obr. 3.10 Nedostatky triangulácie [13]

### 3.3.2 Pasívna triangulácia

Pri pasívnej triangulácii nie je vždy známe geometrické usporiadanie súčastí systému ako je tomu pri aktívnej triangulácii. Oproti aktívnej triangulácii sa často využíva viacero kamier. Tretí rozmer sa dostane z relatívnych polôh jednotlivých kamier alebo pomocou samokalibrácie. Takýto systém sa nazýva dynamickým. Ďalším spôsobom pasívnej triangulácie je statický systém. Je to použitie jednej kamery, ktorá nasníma predmet z rôznych pohľadov a uhlov.

Pasívna triangulácia sa delí podľa počtu kamier a metód určenia ich polohy na:

- pasívna triangulácia so známou orientáciou viacerých kamier
- pasívna triangulácia so samokalibráciou viacerých kamier
- pasívna triangulácia so samokalibráciou jednej kamery v rôznych polohách

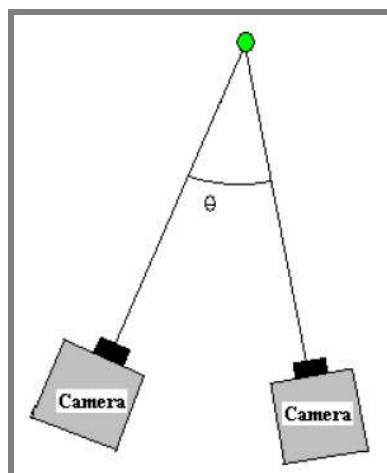
#### Samokalibrácia

Pri samokalibrácii je použitý kalibračný predmet viditeľný na záberoch kamery. Poloha kamery voči meranému predmetu nie je známa. Jej relatívna poloha sa určí na základe kalibračného predmetu. Rozmery kalibračného predmetu sú známe a často doplnené o nejaký známy vzor. Pomocou kalibračného predmetu a jeho mierky systém dokáže určiť a vypočítať všetky potrebné skutočné vzdialenosti bodov predmetu vrátane hľadaného tretieho rozmeru. [13]

#### Stereovidenie

Stereovidenie je podskupinou pasívnej triangulácie. Na zachytenie tretieho rozmeru využíva princíp ľudských očí. Spoluprácou ľavého a pravého oka vidíme priestorovo. Pravé oko si vytvára svoj samostatný obraz nezávisle od ľavého oka. Ľavé oko má tiež svoj obraz nezávislý na pravom oku. Združené zorné lúče sa v priestore premietnu a pretnú sa. Touto spoluprácou sa vytvára priestorový obraz.

Takýto princíp sa nazýva stereovidenie. Existujú systém napodobňujúce stereovidenie ľudských očí pomocou dvoch CCD kamier [13], [15], [17], [18]



Obr. 3.11 Stereovidenie [18]

### 3.4 Optické skenery

3.4

#### 3.4.1 ATOS

3.4.1

ATOS je skratka anglických slov Advanced Topometric Sensor. [19] Na trhu sa pohybuje viac ako 10 rokov. [20] Je to optický bezdotykový mobilný 3D skener vyrábaný nemeckou firmou GOM, na český trh ho distribuuje firma MCAE Systems. ATOS pracuje na princípe pasívnej triangulácie so známou orientáciou viacerých kamier. Súčasťou ATOS-u sú dve symetricky uložené CCD kamery Sony XC75. Medzi nimi je umiestnený projektor vysielajúci plochu svetla v tvare svetelných pásov. [22]



Obr. 3.12 Skenovanie s ATOS-om [25]

### Proces skenovania

Na obrázkoch 3.12 až 3.14 je zobrazený priebeh skenovania hlavy pretekára F1 Rubensa Barrichella za účelom návrhu prilby F1 splňujúcej prísne kritériá hlavne v oblasti bezpečnosti, aerodynamiky, váhy a aj pohodlia pretekára. Z týchto dôvodov je najvhodnejšie navrhnuť prilbu presne na pretekárovu hlavu. [25] Pred skenovaním sa na predmete rovnomerne umiestnia pomocné značky. Projektor osvieti plochu pásmi svetla, ktoré súčasne snímajú kamery. [21], [23]



Obr. 3.13 Pásky svetla a značky [25]

Jeden pixel snímku sa spracuje každou kamerou samostatne. Systém rozpozná tvar predmetu podľa pásov svetla kopírujúcich predmet. Týmto spôsobom sa prejde celý predmet. Počas merania sa projektor automaticky kalibruje, aby nedošlo ku skresleniu svetelných pásov vplyvom okolitého prostredia, čím kladie minimálne požiadavky na jeho užívateľa. ATOS nevyžaduje presné krokovanie pohybu okolo predmetu, lebo si dokáže pomocou značiek správne zaradiť každý snímok. [21], [23] Pre opakované skenovania rovnakých dielov je výhodné ATOS doplniť rotačným stolom alebo počítačom riadeným priemyslovým robotom pre sproduktívnenie skenovania. [24]

### Výstupy z merania

Výstupy z merania sú: optimalizovaná polygónová sieť STL, mrak bodov, rezy, obrysové a kontrastné krivky, farebné mapy zobrazujúce odchýlky reálnej súčiastky a modelu a protokol merania vo formáte HTML, Word či PDF. [24]



Obr. 3.14 Výstup so skenovania ATOS-om II [19]

### ATOS a jeho prevedenia

ATOS má mnoho prevedení, ktoré sa od seba odlišujú parametrami komponentov systému a sú určené na skenovanie rôznych veľkostí predmetov. ATOS SO je určený na presné skenovanie malých dielov. Jeho presnosť zaručuje malá vzdialenosť skenovaných bodov pohybujúca sa okolo hodnoty 0,02 mm v závislosti od rady. Prevedenie SO majú všetky tri výkonnostné rady ATOS I, II aj III. [26], [27] ATOS I má rýchly čas merania, 0,8 sekundy. [26], [28]



Obr. 4.15 ATOS I SO [26]

Tab. 3.1 ATOS I [26], [27], [28]

<b>ATOS</b>	<b>ATOS I</b>	<b>ATOS I SO</b>
<b>Namerané body [-]</b>	<b>800 000</b>	<b>800 000</b>
<b>Čas merania [s]</b>	<b>0,8</b>	<b>0,8</b>
<b>Merací rozsah [mm<sup>2</sup>]</b>	<b>125x100 až 1000x800</b>	<b>40x30 až 250x200</b>
<b>Vzdialenosť medzi bodmi [mm]</b>	<b>0.12 až 1.00</b>	<b>0.04 až 0.25</b>

ATOS II má s porovnaním I lepšie parametre. Má na jeden záber väčšie rozlíšenie a dokáže snímať väčšiu plochu. [26], [29] ATOS IIe je skener z parametrami ATOS II, ale obsahuje výkonnejší zdroj svetla. ( rovnaký ako ATOS-a III ) [26], [30]



Obr. 3.16 ATOS II [29]

Tab. 3.2 ATOS II. [26], [27], [29], [30]

<b>ATOS</b>	<b>ATOS IIe</b>	<b>ATOS II SO</b>
<b>Namerané body [-]</b>	<b>1 400 000</b>	<b>1 400 000</b>
<b>Čas merania [s]</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>Merací rozsah [mm<sup>2</sup>]</b>	<b>175x140 až 2000x1600</b>	<b>30x24 až 250x200</b>
<b>Vzdialenosť medzi bodmi [mm]</b>	<b>0.12 až 1.40</b>	<b>0.02 až 0.17</b>

ATOS III je najkvalitnejším skenerom z rady ATOS. Dokáže spracovať aj veľké objekty obsahujúce malé detaily. [26], [31]



Obr. 3.17 ATOS III [31]

Tab. 3.3 ATOS III [26], [27], [31]

ATOS	ATOS III	ATOS SO 4M
Namerané body [-]	4 000 000	4 000 000
Čas merania [s]	2	2
Merací rozsah [mm <sup>2</sup> ]	150x150 až 2000x2000	30x30 až 300x300
Vzdialenosť medzi bodmi [mm]	0.07 až 1.00	0.015 až 0.15

ATOS XL dokáže prijať naskenované údaje od optického systému TRITOP. Touto spolupracou ATOS získa možnosť skenovať predmety veľkosti niekoľkých metrov. [26]

### Prednosti ATOS-u

Výhody ATOS-u spočívajú v jednoduchom ovládaní, rýchlosti skenovania a vysokom rozlíšení kamier. Umožňuje digitalizovať mäkké materiály, priehľadné, či lesklé povrchy. ATOS má veľa variácií prevedení. V neposlednom rade prednosťou ATOS-u je aj možnosť spolupráce z TRITOP-om. [24], [19]

### 3.4.2 TRITOP

TRITOP je optický mobilný bezdotykový 3D skener, vyrábané firmou GOM. Na český trh ho prináša spoločnosť MCAE Systems. Pracuje na princípe pasívnej triangulácie so samokalibráciou jednej kamery v rôznych polohách. Súčasťou skeneru je digitálny fotoaparát Fuji FinePix S2, notebook, kalibračná tyč, kódované samolepiace značky z rozmermi 3cm x 3cm a nekódované značky.[32]



Obr. 3.18 TRITOP HR [32]

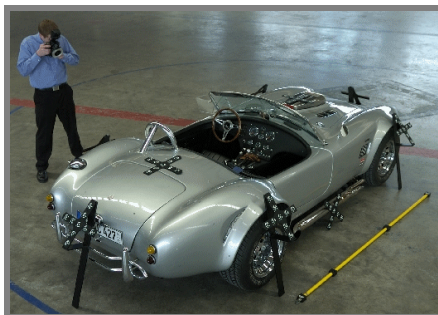
### Proces skenovania

Pred skenovaním sa prilepia kódované a nekódované značky na predmet, pri ktorý sa položí kalibračná tyč obsahujúca známu mierku, obr.3.19.



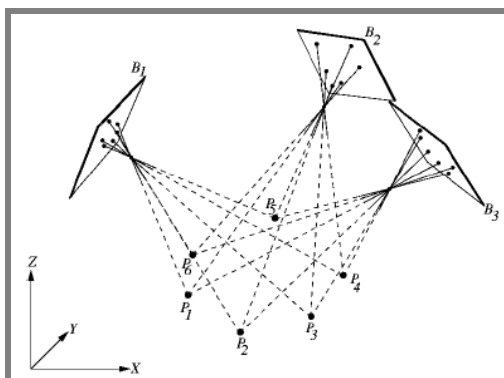
Obr. 3.19 Pripravený predmet na skenovanie [38]

Kalibračná tyč musí počas celého skenovania zostať na jednom mieste, aby skenovanie bolo úspešné. Ako prvé sa odfotia aspoň 4 fotografie, ktoré obsahujú kalibračnú tyč spolu s predmetom. Pomocou týchto fotografií si TRITOP stanoví mierku pre určenie reálnych vzdialeností bodov na celom predmete. [21], [33], [34]



Obr. 3.20 Fotografovanie s TRITOP-om [37]

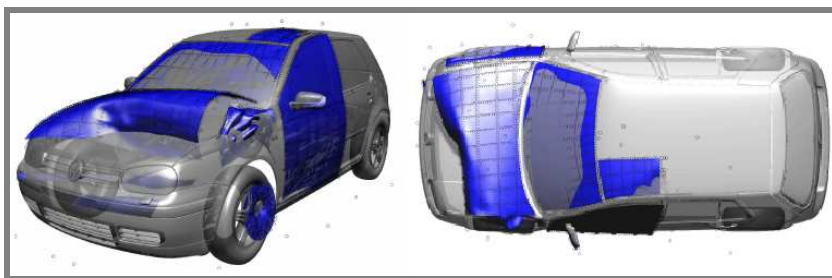
Ďalej sa predmet odfotí viackrát z rôznych uhlov tak, aby sa na fotografiách nalepené body objavili minimálne trikrát. O čom viackrát a hustejšie sa predmet vyfotí, o to kvalitnejší a presnejší bude digitálny model. [21], [33], [34]. Na obr. 3.21 plochy  $B_1$ ,  $B_2$  a  $B_3$  predstavujú fotografie. Body  $P_1$  až  $P_6$  sú značky. Na správnu identifikáciu jedného bodu v priestore  $x$ ,  $y$ ,  $z$  systém potrebuje aspoň 3 fotografie jednej značky. [39] Takýmto spôsobom systém rozpozná celý povrch.



Obr. 3.21 Princíp systému TRITOP [38]

### Výstupy z merania

Výstupy z merania sú: 3D súradnice diskretných bodov, rezy, obrysové krivky, grafický a textový protokol merania, HTML, ASC II. [34]



Obr. 3.22 Výstup so skenovania TRITOP-om [38]

## Parametre TRITOP-u

Tab. 3.4 TRITOP [36]

TRITOP	HR	STD
Merací objem [m <sup>3</sup> ]	0,1x0,1x0,1 až 10x10x10	0,1x0,1x0,1 až 2x2x2
Rozlíšenie [Px]	6 000 000	3 000 000
Rozsah teplôt [°C]	-40 až 120	-40 až 120

### Vlastnosti TRITOP-u

Presnosť skeneru sa pohybuje od 0,02 mm do 0,4 mm. Skenovanie nie je závislé na materiále predmetu. Skener dokáže skenovať teplé predmety až do 180°C a mäkké predmety ako je napríklad pena. Na prenos údajov do notebooku používa technológiu Wireless LAN. Nafotené údaje bodov sa dajú použiť na spoluprácu z ATOS-om. Táto spolupráca je za účelom zvýšenia presnosti so strany TRITOP-u. TRITOP nie je vhodný na sériové skenovanie, kvôli ručnému vyhotovovaniu snímok. [34], [35]

### 3.4.3 COMET V

COMET V je optický, mobilný 3D skener vyrábaný firmou Steinbichler Optotechnik. Táto firma už viac ako 20 rokov prichádza s výrobkami v oblasti optického snímania. COMET V je piatou generáciou 3D skenera COMET. Je založený na princípe 3D aktívnej triangulácie. Zariadenie sa skladá z projektora a CCD kamery s vysokým rozlíšením, ktoré sú usadené na lište pod nimi. [39]



Obr. 3.23 COMET V [39]

#### Proces skenovania

COMET V pracuje rovnakým spôsobom ako všetky 3D skenery založené na aktívnej triangulácii. Projektor nasvieti skenovanú plochu svetelným zdrojom za súčasného snímania kamerou. Podľa zlomených pásov svetla systém rozpozná tvar povrchu. Na skenovanie menších predmetov sa kamera posúva bližšie k projektoru, obr.3.24.



Obr. 3.24 Posunutie kamery [39]

## Parametre skenera COMET-u V

Tab. 3.5 COMET V [39], [40]

COMET	COMET V
Namerané body [-]	1600x1200 až 2000x2000
Čas merania [s]	> 1
Merací rozsah [mm <sup>2</sup> ]	80x80 až 800x800
Vzdialenosť medzi bodmi [mm]	≥ 0,04
Rozlíšenie kamery [Px]	11 000 000

### COMET a jeho doplnky

COMET vďaka rýchlemu skenovaniu je vhodný na sériovú digitalizáciu a dá sa umiestniť na automatický priemyselný robot, obr.3.25 v ľavo. Ďalším doplnkom je rotačný stolček vhodný na stredne malé a malé predmety, obr.3.25 v strede. Rotácia je automaticky riadená, čím je stolček vhodný na zautomatizovanie digitalizácie. Urýchľuje a spresňuje skenovanie malých predmetov. Na skenovanie obdĺžnikových predmetov menších rozmerov je k dispozícii lineárny pohon, obr.3.25 v pravo. Tieto doplnky by našli uplatnenie aj v spolupráci s podobnými systémami. [41]



Obr. 3.25 Doplnky COMET-u [42]

### Prednosti COMET-u V

Prednosti COMET-u V spočívajú vo vysokom rozlíšení kamery, ktorá zaručuje kvalitu výstupných údajov. Systém pracuje rýchlo, čím je vhodný na použitie v sériovej výrobe. Výrobca dodáva k tomuto systému ne jeden doplnok.

#### 3.4.4 OptoTOP-HE

OptoTOP-HE je výsledok 15 ročných skúseností firmy Breuckmann s vývojom optických systémov. Tento systém funguje na princípe aktívnej 3D triangulácie. Je to mobilný optický 3D systém. Súčasťou tohto systému je projektor a CCD kamera, s rozlíšením 1,4 MPx alebo 6,6 MPx. Správnu vzdialenosť medzi nimi zabezpečuje trubka. Je skonštruovaný tak, aby sa trubka dala ľahko vymeniť a tým zmeniť vzdialenosť medzi projektorom a kamerou. Týmto je systém prispôsobiteľný na skenovanie predmetov rozličných veľkostí. [42], [43] Štandardný model je schopný snímať obraz z uhlopriečkou od 50 mm do 800 mm. Zväčšený model nasníma obrazy s uhlopriečkami v rozmedzí 25 mm až 1200 mm. Model pre najväčšie predmety dokáže pokryť obraz veľkosti uhlopriečky od 400 mm až do 1700 mm. [44]



Obr. 3.26 OptoTOP-HE [45]

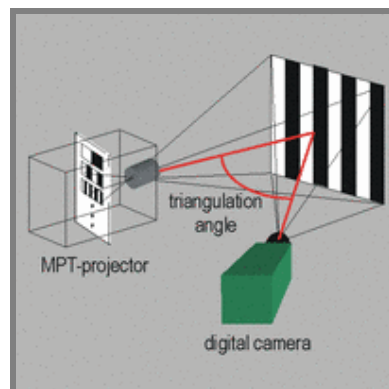
### Proces skenovania

Začína prípravou skenovaného povrchu. Na povrch sa prilepia značky, ktoré pomôžu správne vystihnúť charakteristické črty povrchu. Samotný proces snímania začína nasvietením skenovanej časti povrchu projektorom a vyslaním pásov svetla čiernej farby striedajúce sa s pásmi bielej farby, obr. 3.27 [43], [46]



Obr. 3.27 Svetelné pásy vysielané projektorom [43]

Celý tento proces sníma kamera. Systém používa triangulačné uhly nad 30 stupňov. [44] Na obr. 3.28 je zobrazený projektor vysielajúci svetelné pásy a zelená kamera snímajúca pásy. Triangulačný uhol je zvýraznený červenou čiarou.



Obr. 3.28 Skenovanie s Opto TOP-HE [46]

### Parametre skenera OptoTOP-HE

Tab. 3.6 OptoTOP-HE [44], [47]

<b>OptoTOP-HE</b>	
<b>Rozlíšenie [Px]</b>	<b>1380x1036</b>
<b>Čas merania [s]</b>	<b>0,98</b>
<b>Merací rozsah [mm<sup>2</sup>]</b>	<b>50 až 1700</b>
<b>Vzdialenosť medzi bodmi [mm]</b>	<b>0,02</b>
<b>Hmotnosť [Kg]</b>	<b>2 až 3</b>

### Vlastnosti optoTOP-HE

Skener sa pripája k počítaču pomocou portu IEEE 1394. Výhoda optoTOP-HE spočíva v rýchlosti systému. Rozmery a hmotnosť skeneru dovoľujú ľahkú manipuláciu. Vďaka výmennej trubke spojujúcej projektor a kameru dokáže digitalizovať veľký rozsah veľkostí predmetov. [43]

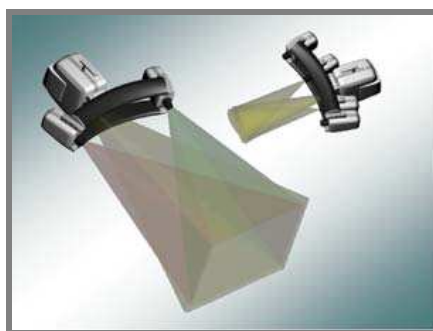
### 3.4.5 StereoSCAN

3.4.5

StereoSCAN 3D je optický mobilný systém spoločnosti Breuckmann. Tento skener sa skladá z projektor a dvoch CCD kamier, každá s rozlíšením 1,4 MPx alebo 6,6 MPx. Všetky tri časti skenera sú vložené medzi hornú a dolnú lištu. Projektor sa nachádza medzi kamerami. Kamery sú voči projektoru asymetricky uložené s možnosťou polohovania. [51], [52] Princíp získania tretieho rozmeru je založený na pasívnej triangulácii so známou orientáciou kamier a stereovidení, obr.3.30 [48], [49]



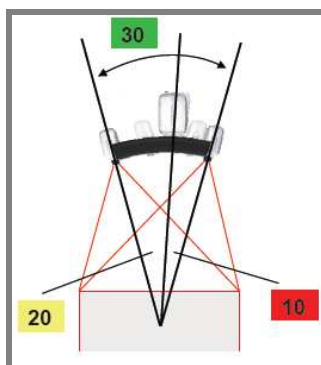
Obr. 3.29 StereoSCAN [49]



Obr. 3.30 Stereovidenie skenera. [48]

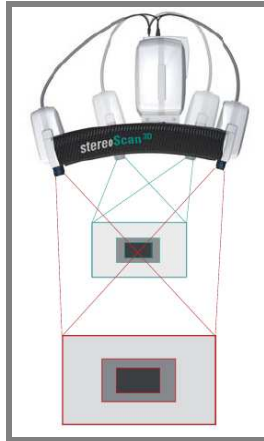
### Proces skenovania

Projektor osvetlí skenovaný predmet svetelným vzorom (pásky čiernej a bielej farby) a kamery zároveň snímajú povrch. Pomocou vzoru kopírujúceho povrch skener rozpozná geometriu povrchu. StereoSCAN používa tri triangulačné uhly: 10°, 20° a 30°. obr. 3.31 [48], [49]



Obr. 3.31 Triangulačné uhly [51]

Na obr. 3.32 je modrým znázornená poloha kamier určená pre malé predmety od 60 mm do 125 mm a červenou pre väčšie predmety od 175 mm do 725 mm. Týmto polohovaním je skener flexibilný a umožní skenovať malé aj veľké predmety od 60 mm až do 725 mm. [48], [49]



Obr. 3.32 Polohy kamier [50]

### Parametre skenera StereoSCAN

Tab. 3.7 StereoSCAN [50]

<b>StereoSCAN</b>	
<b>Rozlíšenie na každú kameru [Px]</b>	<b>1384 x 1036</b>
<b>Čas merania [s]</b>	<b>&gt; 1</b>
<b>Merací rozsah [mm]</b>	<b>60 až 725</b>
<b>Vzdialenosť medzi bodmi [mm]</b>	<b>0,002</b>
<b>Vzdialenosť meraného predmetu [mm]</b>	<b>380 až 880</b>
<b>Hmotnosť [Kg]</b>	<b>6</b>

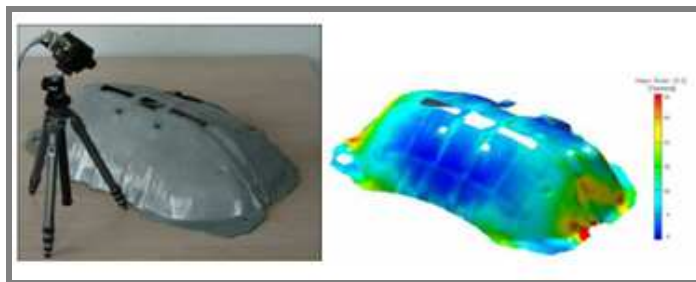
#### Vlastnosti StereoSCAN-u

Skener sa pripája k počítaču pomocou portu IEEE 1394. Výhodou je už spomínaná flexibilita a rýchlosť spracovania obrazu, ktorá chráni nasnímaný údaj pred negatívnymi vonkajšími vplyvmi. Rozmery a hmotnosť, zariadenia umožňujú ľahkú manipuláciu a prenášanie. [49], [50]

## 3.5 Použitie 3D skenerov

### 3.5.1 Strojárstvo

Hlavné využitie 3D skenerov je v strojárstve. 3D skenery sa používajú pri výmene a úprave poškodenej či starej súčiastky ku ktorej chýba výkresová dokumentácia. 3D skener umožní rýchle vytvorenie 3D modelu danej súčiastky. V prípade potreby nie je problém 3D model upraviť v CAD programoch. Z modelu sa vytvorí výkres na základe ktorého sa vyrobí nová súčiastka. 3D skenery sa dajú využiť aj na meranie deformácie. Príkladom môže byť analýza deformácií plechov pri crash testoch automobilov. Na základe získaných údajov konštruktéri zvyšujú bezpečnosť automobilových karosérii. [1], [52], [53]



Obr. 3.33 Analyza deformácie podbehu karosérie auta [53]

3D skenery dokážu analyzovať aj ťahanie plechov. Na povrch plechu sa vyleptá mriežka pred začatím procesu ťahania. Po jeho dokončení sa zdeformovaná mriežka a pôvodná porovnajú. [52], [56]

### 3.5.2 Automobilový priemysel

3.5.2

V automobilovom priemysle sa 3D skenery používajú hlavne pri vývoji dizajnu automobilov. Dizajnéri aj v dnešnej dobe kvalitných CAD modelárov využívajú hlinené modely na realizáciu svojich predstáv. Často sa jedná o model komplikovaných tvarov. Na jeho prenesenie do počítačového 3D modelu sú vhodné predovšetkým 3D skenery. [52], [56]



Obr. 3.34 Skenovanie hlineného modelu [65]

Vonkajšiu vzhľadovú úpravu aut, tuning, sproduktívňuje a uľahčuje digitalizácia. Na obr. 3.35 je vidieť úprava predného svetla automobilu. Výrobca automobilu neposkytuje výkresovú dokumentáciu svetla. Na získanie geometrie svetla sú vhodné 3D skenery. V tomto prípade umožnili návrh súčiastky tak, aby presne zapadla na príslušné miesto a umožnili zobraziť navrhnutú súčiastku spolu so svetlom na monitore počítača. Takto zákazník získa lepšiu predstavu o priebehu návrhu súčiastky a môže konštruktérom lepšie vysvetliť svoju predstavu. [1]



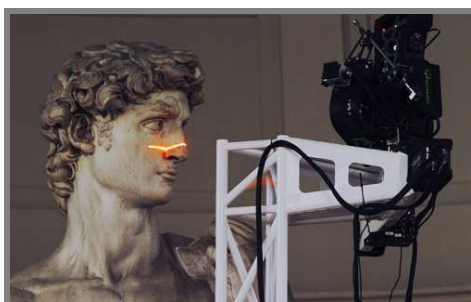
Obr. 3.35 Tuningová súčiastka na prednom svetle auta [1]

### 3.5.3 Medicína

V medicíne 3D skenery napomáhajú pri vytváraní kĺbných implantátov. Tvarová zložitosť kostí zamedzuje použitie klasického prístupu vytvorenia 3D modelu. Implantát musí byť presne vyrobený. 3D skener presne naskenuje miesto, kde náhrada príde. Pomocou získanej presnej geometrie špecializovaní konštruktéri dokážu navrhnuť vhodnú náhradu kĺbu. Ďalšou možnosťou použitia 3D skenerov v medicíne je digitalizácia ľudských tkanív. [52]

### 3.5.4 Umenie

Aj v umení sa využívajú 3D skenery na naskenovanie umeleckých diel, ktoré sú charakteristické vysokou tvarovou náročnosťou. Originál sa môže uchovať v podmienkach zaručujúcich jeho dlhé zachovanie. Na základe naskenovaného modelu sa vytvorí kópia, ktorá sa môže vystavovať. [52]



Obr. 3.36 Skenovanie sochy [55]

### 3.5.5 Prezentácie

Výrobok sa naskenuje 3D skenerom a prezentuje sa ako 3D model na internetových stránkach výrobcu. Tento 3D model sa môže vložiť do animovaných simulácií so snahou čo najviac zaujať potenciálneho zákazníka. [52]

### 3.5.6 Film a počítačové hry

Na vytvorenie animovaných postáv sa používajú 3D skenery. V ateliéry sa nakreslí podoba postavy. Z nej sa vytvorí 3D model, ktorý sa naskenuje. V špecializovaných programoch sa tento 3D model animuje. Touto technikou bol napríklad vytvorený film Jurský park. Podobným spôsobom sa vytvárajú špeciálne efekty vo filmoch a počítačových hrách. [1], [52]

### 3.5.7 Obuvnícky a odevný priemysel

3D skenery pomáhajú aj v oblastiach ako sú obuvnícky či odevný priemysel. Skenujú sa postavy, ktoré slúžia ako predloha pri vývoji oblečenia. Pre návrh obuvi sa skenujú chodidlá. Túto možnosť využívajú vrcholový športovci futbalu, hokeju, atletiky a pod. Naskenujú si chodidlo a nechajú si navrhnuť obuv presne na svoju nohu. Týmto sa snažia vylepšiť svoje výkony. [52]



Obr. 3.37 Skenovanie postavy [63]

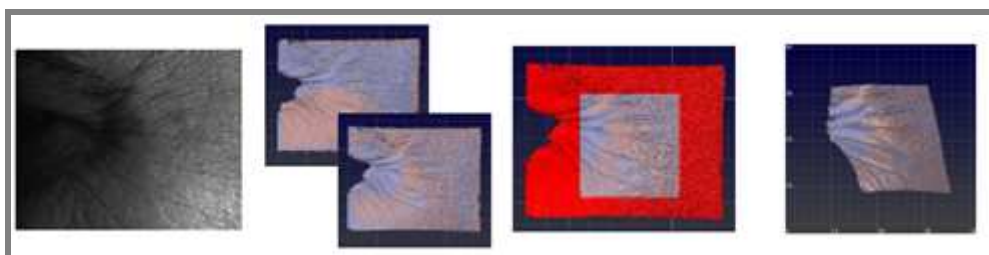
### 3.5.8 Kozmetika

3.5.8

Široké možnosti 3D skenerov umožnili ich použitie aj v kozmetike. 3D skenery sa v kozmetike používajú na skenovanie vrások. Toto použitie napomáha k vývoji krémov určených k vylepšeniu vzhľadu vrások. Vrásky sa skenujú pravidelne po dobu používania daného krému. Zo získaných dát od 3D skenera sa dá presnejšie vyhodnotiť účinok krému na vrásky. [52], [58]



Obr. 3.38 Skenovanie vrások [58]



Obr. 3.39 Výstup so skenovania vrások [58]

## 4 ANALÝZA A ZHODNOTENIE ZÍSKANÝCH POZNATKOV

Technológia optických systémov je veľmi mladá (napríklad pri porovnaní s technológiou zlievania), ale aj napriek tomu dosahuje veľmi dobré výsledky a jej využívanie sa neustále zvyšuje. Počiatky optických systémov siahajú do 80.ých rokov minulého storočia, ale kvalitné 3D skenovacie systémy sú na trhu len približne 15 rokov. Za túto pomerne krátku dobu optické 3D skenery dosiahli veľkého pokroku. Dokážu detailne digitalizovať povrch veľkou rýchlosťou a vysokým rozlíšením. Nemajú problémy so skenovaním malých predmetov s rozmermi niekoľkých centimetrov, ale ani veľkých objektov, ktorých rozmery dosahujú až desiatky metrov. Pritom ich rozmery a hmotnosť umožňujú ľahkú manipuláciu, prenášanie a prácu s nimi. Na druhej strane nevýhodou týchto zariadení je vysoká cena. Základným spoločným rysom všetkých zariadení spomenutých v tejto práci je ich mobilita, bezkontaktné snímanie a využitie triangulačného princípu na zachytenie tretieho rozmeru. Všetky opísané optické systémy pracujú veľmi rýchlo. Ako zachytávajúce zariadenie používajú buď jeden alebo dva CCD snímače. Jeden fotoaparát, kalibračná tyč a značky tvoria optický systém TRITOP. Zástupcami optických systémov zložených z jednej CCD kamery spolupracujúcej s jedným projektorom sú: COMET V a OptoTOP-HE. Dve CCD kamery a jeden projektor umiestnený medzi nimi používajú 3D optické skenery ATOS a StereoSCAN. Rozdiel medzi nimi je v tom, že ATOS má obe kamery pevne symetricky umiestnené voči projektoru, kým stereoSCAN ich má asymetricky umiestnené s možnosťou zmeny ich polôh. Všetky opísané optické systémy dosahujú podobné skenovacie parametre i kvalitné výstupy po skenovaní, ale na druhej strane každý z nich v niečom vyčnieva. TRITOP dokáže pokryť najväčšiu plochu siahajúcu až do desiatok metrov. Nevýhodou TRITOP-u oproti ostatným zariadeniam je pomalšie skenovanie a tým nevhodnosť na použitie v sériovom skenovaní. ATOS ponúka širokú škálu prevedení v závislosti od veľkosti skenovaného predmetu a požadovaného rozlíšenia výstupných 3D modelov. COMET V obsahuje kameru s najlepším rozlíšením. OptoTOP-HE a stereoSCAN dokážu meniť vzájomné vzdialenosti a usporiadanie medzi komponentmi systému. Zmenou vzdialenosti medzi kamerami dokážu skenovať buď malé alebo väčšie predmety. Optické skenery by sa dali rozlíšiť aj podľa príslušného programu a jeho výhod a nevýhod. Pomocou neho tieto systémy transformujú naskenované údaje do 3D modelu. Kvôli rozsahu práce nebol priestor na analýzu programov každého skenera. Použitie optických 3D systémov je všestranné a v stále vo viacerých oboroch sa vyskytuje ich využitie. Optické systémy vo veľa prípadoch uľahčujú konštruovanie a vývoj predmetov, ktoré iste každý dennodenne používa a týmto prispievajú k nášmu kvalitnejšiemu životu.

## 5 VYMEDZENIE TRENDOV BUDÚCEHO VÝVOJA

**5**

---

Ďalší vývoj opísaných optických systémov a im podobným bude pravdepodobne smerovať k ešte kvalitnejším a rýchlejšim parametrom skenovania. Celková kvalita výstupov a rýchlosť skenovania sa budú pravdepodobne zlepšovať. Tento trend je vidieť napríklad na prevedeniach a postupnom vývoji ATOS-u. Postupne od ATOS-a I až po ATOS III sa skvalitňujú parametre týchto skenerov. Podobné navýšenie kvality sa dá vysledovať aj u optického systému COMET. Najnovší vývojový model COMET V má oproti COMET-u IV väčšie rozlíšenie kamery a rýchlejší čas skenovania. Postupný nárast kvality najnovších optických systémov oproti tým starším typom je zrejмый, preto sa dá do budúcnosti predkladať pokračovanie tohto trendu. S rastúcou kvalitou samozrejme rastie i cena. Vysoká cena je daná tým, že je to pomerne mladá a stále sa vyvíjajúca technológia. V budúcnosti, keď sa rýchly vývoj ustáli a na trhu sa objaví väčšie množstvo výrobcov sa dá očakávať postupný pokles cien.

---

## 6 SÚHRN BIBLIOGRAFII

- [1] NAVRÁTIL, R. *Reverse Engineering - trocha teorie*. [online]. 2000 [cit. 2008-04-21]. <<http://robo.hyperlink.cz/re-teorie/index.html>>.
- [2] HOFFMANN, V. *A Brief History of 3D Scanning*. [online]. 1998 [cit. 2008-04-21]. <[http://vr.isdale.com/3DScanners/3d\\_scan\\_history/history.htm](http://vr.isdale.com/3DScanners/3d_scan_history/history.htm)>.
- [3] SYŘIŠTĚ, D., SKOPEČEK, T., KAPINUS, V. *Reverzní inženýrství, digitalizace a výroba forem*. MM Průmyslové spektrum [online]. 2004 [cit. 2008-04-21]. <<http://www.mmspektrum.com/clanek/reverzni-inzenyrstvi-digitalizace-a-vyroba-forem>>.
- [4] KOSTA, J. *MicroScribe 3D*. [online]. 2000 [cit. 2008-04-21]. <<http://www.3dgrafika.cz/index.php?id=1150&search=rhino>>. ISSN 1802-288X
- [5] Smart Technologies. *Digitalizace: Co to je digitalizace? - Digitalizace*. [online]. 2008 [cit. 2008-04-21]. <<http://www.smart-tech.cz/cz/CAT-Scan/>>.
- [6] ŠIMONÍK, M. *Digitalizace - její princip a rozdělení*. MM Průmyslové spektrum [online]. 2004 [cit. 2008-04-21]. <<http://www.mmspektrum.com/clanek/digitalizace-jeji-princip-a-rozdeleni>>.
- [7] NAVRÁTIL, R. *3D skenery*. [online]. 2000 [cit. 2008-04-21]. <<http://robo.hyperlink.cz/3dskenery/index.html>>.
- [8] DÚBRAVČÍK, M. *Prostriedky digitalizácie*. [online]. 2005 [cit. 2008-04-21]. <<http://64.233.183.104/search?q=cache:976LgTwdbAIJ:web.tuke.sk/sjficav/stranky/transfer/8-2005/pdf/52-54.pdf+prostriedky+digitaliz%C3%A1cie&hl=cs&ct=clnk&cd=1&gl=sk>>.
- [9] CGI. *Cross-Sectional Scanning*. [online]. 2006 [cit. 2008-04-22]. <[http://www.cgiinspection.com/css\\_process.cfm](http://www.cgiinspection.com/css_process.cfm)>.
- [10] Wikipedia. *3D scanner*. [online]. 2008 [cit. 2008-04-21]. <[http://en.wikipedia.org/wiki/3D\\_scanner](http://en.wikipedia.org/wiki/3D_scanner)>.
- [11] GOM-Measuring systems. *Contact europe*. [online]. [cit. 2008-04-22] <<http://www.gom.com/EN/company/contact/europe.html>>.
- [12] Konica Minolta. *3D Digitizers : non – contact 3D laser scanner*. [online]. 2004 [cit. 2008-04-22] <<http://www.minolta3d.com/products/main-en.asp>>.
- [13] KALOVÁ, I., HORÁK, K. *Optické metody měření 3D objektů*. Elektrevue [online]. 2005 [cit. 2008-04-26]. <<http://www.elektrevue.cz/clanky/05023/index.html#kap2.1.1>>.
- [14] TIŠNOVSKÝ, P. *Bezkontaktní digitalizace předmětů pomocí 3D scanneru Minolta Vivid VI-700 : 2. Metody bezkontaktní digitalizace povrchů reálných předmětů*. Elektrevue [online]. 2003 [cit. 2008-04-26]. <[http://www.elektrevue.cz/clanky/03013/kap\\_2.htm](http://www.elektrevue.cz/clanky/03013/kap_2.htm)>. ISSN 1213-153.
- [15] TON, O. *Orientace v prostředí - podrobnější specifikace*. [online]. 2005 [cit. 2008-04-26]. <<http://dce.felk.cvut.cz/prezentace/orientace%20podr.pdf>>.
- [16] FH konstanz. *Theorie zum Thema "Grundlagen der Triangulation"*. [online]. 2000 [cit. 2008-04-21]. <<http://www.vvl.htwg-konstanz.de/3Dbildver/Labor/3/072.html>>.
- [17] Hermary Opto Electronics. *Scanner Technology : What is Scanner Technology?*. [online]. [cit. 2008-04-22]. <<http://www.hermaryopto.com/scantech.html>>.

- [18] NÄSLUND, A. *Robust Automated Deburring*. [online]. 2007 [cit. 2008-04-24]. <<http://epubl.luth.se/1402-1617/2007/051/LTU-EX-07051-SE.pdf>>. ISSN 1402-1617.
- [19] Scan-Xpress. *Products : ATOS - Advanced Topometric Sensor*. [online]. [cit. 2008-04-25]. <[http://www.3dscan-xpress.com.au/atos/atos\\_overview.html](http://www.3dscan-xpress.com.au/atos/atos_overview.html)>.
- [20] GOM-Measuring systems. *ATOS History*. [online]. [cit. 2008-05-26]. <<http://www.gom.com/EN/measuring.systems/atos/system/variations/history.html>>.
- [21] NAVRÁTIL, R. *Optické 3D skenery*. [online]. 2000 [cit. 2008-04-26]. <<http://robo.hyperlink.cz/3dskenery/main05.html>>.
- [22] IULIANO, L., MINELOTA, P. *Rapid Manufacturing of sculptures replicas: A comparison between 3D optical scanners*. [online]. 2005 [cit. 2008-04-27]. <<http://cipa.icomos.org/fileadmin/papers/Torino2005/384.pdf>>.
- [23] Scan-Xpress. *Products : ATOS - ATOS - Workflow*. [online]. [cit. 2008-04-26]. <[http://www.3dscan-xpress.com.au/atos/atos\\_workflow.html](http://www.3dscan-xpress.com.au/atos/atos_workflow.html)>.
- [24] MCAE Systems. *Digitizing - ATOS*. [online]. 2008 [cit. 2008-04-27]. <[http://www.mcae.cz/ATOS\\_CS.html](http://www.mcae.cz/ATOS_CS.html)>.
- [25] GOM-Measuring systems. *A perfect helmet for Formula 1*. [online]. [cit. 2008-05-26]. <[http://www.gom.com/EN/EC39472AC3757F4BC125711B0030E24E\\_9C865CDC04E7DBB6C12571070040EE89.html](http://www.gom.com/EN/EC39472AC3757F4BC125711B0030E24E_9C865CDC04E7DBB6C12571070040EE89.html)>.
- [26] MCAE Systems. *ATOS Configuration*. [online]. 2008 [cit. 2008-04-27]. <[http://www.mcae.cz/ATOS\\_Configuration\\_CS.html](http://www.mcae.cz/ATOS_Configuration_CS.html)>.
- [27] GOM-Measuring systems. *ATOS SO*. [online]. [cit. 2008-04-26]. <<http://www.gom.com/EN/measuring.systems/atos/system/variations/atos.so.html>>.
- [28] GOM-Measuring systems. *ATOS I*. [online]. [cit. 2008-04-26]. <<http://www.gom.com/EN/measuring.systems/atos/system/variations/atos.i.html>>.
- [29] GOM-Measuring systems. *ATOS II*. [online]. [cit. 2008-04-26]. <<http://www.gom.com/EN/measuring.systems/atos/system/variations/atos.ii.html>>.
- [30] GOM-Measuring systems. *ATOS Iie*. [online]. [cit. 2008-04-26]. <<http://www.gom.com/EN/measuring.systems/atos/system/variations/atos.iie.html>>.
- [31] GOM-Measuring systems. *ATOS III*. [online]. [cit. 2008-04-26]. <<http://www.gom.com/EN/measuring.systems/atos/system/variations/atos.iii.html>>.
- [32] KOLAVIK, J. *3D digitalizace prostorových objektů v soudně inženýrské praxi*. [online]. 2008 [cit. 2008-04-25]. <[http://www.fce.vutbr.cz/veda/juniorstav2008\\_sekce/pdf/7/Kolavik\\_Jiri\\_CL.pdf](http://www.fce.vutbr.cz/veda/juniorstav2008_sekce/pdf/7/Kolavik_Jiri_CL.pdf)>.
- [33] Scan-Xpress. *Products : Tritop - Workflow*. [online]. [cit. 2008-04-25]. <[http://www.3dscan-xpress.com.au/atos/tritop\\_workflow.html](http://www.3dscan-xpress.com.au/atos/tritop_workflow.html)>.
- [34] MCAE Systems. *digitizing/deformatin - TRITOP*. [online]. 2008 [cit. 2008-05-27]. <[http://www.mcae.cz/TRITOP\\_Deformation\\_CS.html](http://www.mcae.cz/TRITOP_Deformation_CS.html)>.

- [35] Scan-Xpress. Products : *TRITOP - 3D Coordinate Measurement Technique Using Photogrammetry*. [online]. [cit. 2008-04-25]. <[http://www.3dscan-xpress.com.au/atos/tritop\\_overview.html](http://www.3dscan-xpress.com.au/atos/tritop_overview.html)>.
- [36] Scan-Xpress. Products : *Tritop - Data Sheet*. [online]. [cit. 2008-04-25]. <[http://www.3dscan-xpress.com.au/atos/tritop\\_datasheet.html](http://www.3dscan-xpress.com.au/atos/tritop_datasheet.html)>.
- [37] Capture 3D. Products - *TRITOP*. [online]. [cit. 2008-04-25]. <<http://www.capture3d.com/products-TRITOP.html>>.
- [38] BEHRING, D., THESING, J., HOLGER, B., Zobel, B. *Optical Coordinate Measuring Techniques for the Determination and Visualization of 3D Displacements in Crash Investigations*. [online]. 2001 [cit. 2008-04-28]. <[http://www.gom.com/CONTAINER/files/crash\\_testing.pdf](http://www.gom.com/CONTAINER/files/crash_testing.pdf)>.
- [39] Steinbichler Optotechnik. *COMET5 - The 3D Sensor R-Evolution*. [online]. [cit. 2008-04-09]. <[http://www.steinbichler.de/en/main/\\_comet5\\_home\\_.htm](http://www.steinbichler.de/en/main/_comet5_home_.htm)>.
- [40] Steinbichler Optotechnik. *COMET5 - Technical Data*. [online]. [cit. 2008-04-09]. <[http://www.steinbichler.de/en/main/comet5\\_-\\_technical\\_data.htm](http://www.steinbichler.de/en/main/comet5_-_technical_data.htm)>.
- [41] Steinbichler Optotechnik. *COMET5 - System Extensions*. [online]. [cit. 2008-04-09]. <[http://www.steinbichler.de/en/main/comet5\\_-\\_system\\_extensions.htm](http://www.steinbichler.de/en/main/comet5_-_system_extensions.htm)>.
- [42] Breuckmann. *OptoTOP-HE - The HighEnd 3D Digitising System*. [online]. 2006 [cit. 2008-04-10]. <<http://www.breuckmann.com/index.php?id=optotop-he&L=2>>.
- [43] Accurex Measurement. *Opto-TOP HE : 3D Scanning System*. [online]. [cit. 2008-04-10]. <[http://www.accurexmeasure.com/white\\_light\\_scanning.htm](http://www.accurexmeasure.com/white_light_scanning.htm)>.
- [44] Breuckmann. *OptoTOP-HE The HighEnd 3D Digitising System*. [online]. 2006 [cit. 2008-04-10]. <[http://www.breuckmann.com/typo3conf/ext/naw\\_securedl/secure.php?u=0&file=uploads/media/optoTOP-HE-e.pdf&t=1209476488&hash=ea7cc125658b12ab0e700fafb04c168a](http://www.breuckmann.com/typo3conf/ext/naw_securedl/secure.php?u=0&file=uploads/media/optoTOP-HE-e.pdf&t=1209476488&hash=ea7cc125658b12ab0e700fafb04c168a)>.
- [45] HAND, S., CLARK, J., WILLIAM, M., SCHINDELHOLZ, E. *Measurement of the U.S.S Monitor Propeller Using Structured Light and Coherent Laser Radar Scanning Technologies*. [online]. 2005 [cit. 2008-04-11]. <[http://www.breuckmann.com/typo3conf/ext/naw\\_securedl/secure.php?u=0&file=uploads/media/CMSC\\_Monitor\\_Paper\\_01.pdf&t=1209476488&hash=00b1681836ed5e421a8cbe37f132db5a](http://www.breuckmann.com/typo3conf/ext/naw_securedl/secure.php?u=0&file=uploads/media/CMSC_Monitor_Paper_01.pdf&t=1209476488&hash=00b1681836ed5e421a8cbe37f132db5a)>.
- [46] Breuckmann. *Topometric 3D Metrology*. [online]. 2006 [cit. 2008-04-10]. <<http://www.breuckmann.com/index.php?id=methodology&L=2>>.
- [47] AKCA, D., GRÜN, A., BREUCKMANN, B., LAHANIER, C. *High definition 3D-scanning of arts objects and paintings. Optical 3-D Measurement Techniques VIII* [online]. 2007 [cit. 2008-04-11], s. 50-58. <[http://www.photogrammetry.ethz.ch/general/persons/devrim/2007CH\\_Akca\\_Gruen.pdf](http://www.photogrammetry.ethz.ch/general/persons/devrim/2007CH_Akca_Gruen.pdf)>.
- [48] DEAN , A. *Breuckmann StereoSCAN 3D*. Prototype [online]. 2006 [cit. 2008-04-12], s. 9-11. <[http://prototypemagazine.com/pdf/dl\\_pdf/prototype\\_q3\\_06.pdf](http://prototypemagazine.com/pdf/dl_pdf/prototype_q3_06.pdf)>.
- [49] Breuckmann. *stereoSCAN 3D - The Measuring System for Highest Demands*. [online]. 2006 [cit. 2008-04-10]. <<http://www.breuckmann.com/index.php?id=stereoscan&L=2>>.

- [50] Breuckmann. *stereoSCAN 3D The Measuring System for Highest Demands*. [online]. 2006 [cit. 2008-04-11]. <[http://www.breuckmann.com/typo3conf/ext/naw\\_securedl/secure.php?u=0&file=uploads/media/stereoSCAN\\_en\\_02.pdf&t=1210623275&hash=fb30a1e30976b20d9cc6caa8fa421e6b](http://www.breuckmann.com/typo3conf/ext/naw_securedl/secure.php?u=0&file=uploads/media/stereoSCAN_en_02.pdf&t=1210623275&hash=fb30a1e30976b20d9cc6caa8fa421e6b)>.
- [51] LINSINGER, S., BREUCKMANN, B.. *CLOSE-RANGE SCANNING OF THE CUVILLIES-THEATRE IN MUNICH*. [online]. [cit. 2008-05-29]. <[http://www.commission5.isprs.org/3darch07/pdf/linsinger\\_breuckmann.pdf](http://www.commission5.isprs.org/3darch07/pdf/linsinger_breuckmann.pdf)>.
- [52] KOROUS, M. *3D skenery*. [online]. 2007 [cit. 2008-05-04]. <<http://www.markonet.cz/pages/vyuka/principy-pocitacu/3d-skenery.php?searchresult=1&sstring=post>>.
- [53] PETRUZELKA, J. *Limitní diagramy - experiment*. [online]. [cit. 2008-05-04]. <<http://www.345.vsb.cz/jiripetruzelka/TNMTV/7TvFLDexper.pdf>>.
- [54] *Virtual Prototyping CAD/CAM*. [online]. [cit. 2008-05-04]. <<http://www.vu.vutbr.cz/digidesign/Moduly/Virtu%C3%A1ln%C3%AD%20prototypy%20-%20Ing.%20David%20Palou%C5%A1ek.pdf>>.
- [55] KOROUS, M. *3D skenování sochy Davida*. [online]. 2007 [cit. 2008-05-04]. <[http://www.markonet.cz/pages/vyuka/principy-pocitacu/3d-skenery/3d-skenovani-sochy-davida.php?wb\\_session\\_id=9d05d04a80d909968b9eeca4512b3299](http://www.markonet.cz/pages/vyuka/principy-pocitacu/3d-skenery/3d-skenovani-sochy-davida.php?wb_session_id=9d05d04a80d909968b9eeca4512b3299)>.
- [56] ŠINDELKA, P. *Scannery*. [online]. [cit. 2008-05-07]. <<http://sindelka.jinak.cz/panska/materialy/teorie/t10.html>>.
- [57] ISDALE, J. *3D Scanner Technology Review : 3D Scanner Gallery*. [online]. 1998 [cit. 2008-05-04]. <<http://vr.isdale.com/3DScanners/images/index.html>>.
- [58] Breuckmann. *DermaTOP-blue wrinkles Applications*. [online]. 2004 [cit. 2008-05-8]. <[http://www.breuckmann.com/typo3conf/ext/naw\\_securedl/secure.php?u=0&file=uploads/media/dermaTOP-blue-Applications-wrinkles-2005-e\\_02.PDF&t=1210412843&hash=b770e01096b33690869d623efbdfe801](http://www.breuckmann.com/typo3conf/ext/naw_securedl/secure.php?u=0&file=uploads/media/dermaTOP-blue-Applications-wrinkles-2005-e_02.PDF&t=1210412843&hash=b770e01096b33690869d623efbdfe801)>.

## 7 ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK, SYMBOLOV A VELIČÍN

1D	1-dimensional	Jednorozmerný
2D	2-dimensional	Dvojrozmerný
3D	3-dimensional	Trojrozmerný
ASCII	American Standard Code of Information Interchange	Americký štandardný kód pre výmenu informácií
CAD	Computer Aided Design	Počítačová podpora konštruovania
CAM	Computer Aided Manufacturing	Počítačová podpora výroby
CCD	Charge Coupled Device	Obrazový snímač
F1	Formula 1	Automobilová súťaž
HTML	Hyper Text Markup Language	Jazyk na vytváranie internetových stránok
IEEE1394	Institute of Electrical and Electronic Engineers	Rozhranie na pripojovanie elektrických zariadení k počítaču
NC	Numerical Control	Číslicovo riadený stroj
PDF	Portable Document Format	Formát pre dokumenty
Px	Picture element	Obrazový prvok
STL	Standard Tessellation Language	Optimalizovaná polygónová sieť
Wireless LAN	Wireless local area network	Bezdrôtová lokálna sieť

**8 ZOZNAM OBRÁZKOV**

<b>Obr. 2.1</b> Zaradenie digitalizácie [1].....	13
<b>Obr. 3.1</b> Bodové snímanie povrchu [2] .....	14
<b>Obr. 3.2</b> Plošné snímanie povrchu [2] .....	14
<b>Obr. 3.3</b> Snímanie povrchu pásom svetla [2] .....	15
<b>Obr. 3.4</b> Skener REPLIKA [2] .....	15
<b>Obr. 3.5</b> Aktívna triangulácia, triangulačný trojuholník [13], [15] .....	18
<b>Obr. 3.6</b> 2D triangulácia [16].....	19
<b>Obr. 3.7</b> 3D triangulácia [16].....	19
<b>Obr. 3.8</b> Skenovaný predmet a pásy vysielané zdrojom svetla [13].....	19
<b>Obr. 3.9</b> Pásy svetla zlomené podľa predmetu [13] .....	19
<b>Obr. 3.10</b> Nedostatky triangulácie [13] .....	20
<b>Obr. 3.11</b> Stereovidenie [18] .....	21
<b>Obr. 3.12</b> Skenovanie s ATOS-om [25] .....	21
<b>Obr. 3.13</b> Pásy svetla a značky [25] .....	22
<b>Obr. 3.14</b> Výstup so skenovania ATOS-om II [19].....	22
<b>Obr. 3.15</b> ATOS I SO [26].....	23
<b>Obr. 3.16</b> ATOS II [29] .....	23
<b>Obr. 3.17</b> ATOS III [31].....	23
<b>Obr. 3.18</b> TRITOP HR [32].....	24
<b>Obr. 3.19</b> Pripravený predmet na skenovanie [38] .....	24
<b>Obr. 3.20</b> Fotografovanie s TRITOP-om [37].....	25
<b>Obr. 3.21</b> Princíp systému TRITOP [38].....	25
<b>Obr. 3.22</b> Výstup so skenovania TRITOP-om [38].....	25
<b>Obr. 3.23</b> COMET V [39].....	26
<b>Obr. 3.24</b> Posunutie kamery [39].....	26
<b>Obr. 3.25</b> Doplnky COMET-u [42] .....	27
<b>Obr. 3.26</b> OptoTOP-HE [45] .....	28
<b>Obr. 3.27</b> Svetelné pásy vysielané projektorom [43] .....	28
<b>Obr. 3.28</b> Skenovanie s Opto TOP-HE [46] .....	28
<b>Obr. 3.29</b> StereoSCAN [49].....	29
<b>Obr. 3.30</b> Stereovidenie skenera. [48] .....	29
<b>Obr. 3.31</b> Triangulačné uhly [51] .....	29
<b>Obr. 3.32</b> Polohy kamier [50] .....	30
<b>Obr. 3.33</b> Analýza deformácie podbehu karosérie auta [53].....	31
<b>Obr. 3.34</b> Skenovanie hlineného modelu [65].....	31
<b>Obr. 3.35</b> Tuningová súčiastka na prednom svetle auta [1] .....	31
<b>Obr. 3.36</b> Skenovanie sochy [55] .....	32
<b>Obr. 3.37</b> Skenovanie postavy [63] .....	33
<b>Obr. 3.38</b> Skenovanie vrások [58].....	33
<b>Obr. 3.39</b> Výstup so skenovania vrások [58].....	33

---

## 9 ZOZNAM TABULIEK

<b>Tab. 3.1</b> ATOS I [26], [27], [28].....	23
<b>Tab. 3.2</b> ATOS II. [26], [27], [29], [30].....	23
<b>Tab. 3.3</b> ATOS III [26], [27], [31] .....	24
<b>Tab. 3.4</b> TRITOP [36].....	26
<b>Tab. 3.5</b> COMET V [39], [40] .....	27
<b>Tab. 3.6</b> OptoTOP-HE [44], [47] .....	28
<b>Tab. 3.7</b> StereoSCAN [50] .....	30